



JOURNEES NATIONALES
MACONNERIE

5ème édition – Bordeaux

12 et 13 Juin 2025



Modélisation du Pont d'Osserain :

Modèles et mesures, un attelage nécessaire pour
appréhender finement le comportement des ouvrages

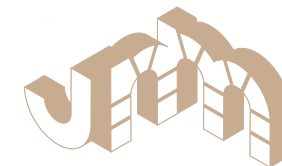
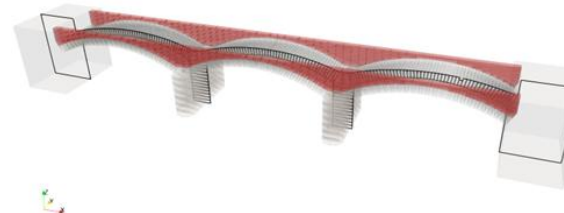
PN DOLMEN

Paul TAFOREL, MiMeTICS engineering
pilote du GT modélisation





GT Modélisation



2D

GETEC / Conseil OA / Expert OA 1 	SETEC 5 	MiMeTICS engineering 9
Université de Limoges L2GC 2 	BOLLINGER + GROHMANN 6 	Université de Montpellier LMGC 10
QUADRIC - Artelia Group 4 	INAS Toulouse / LMDC 7-8 	STONO 3-11

3D



**Académiques /
Universitaires**
2-10



**Spin-off / cellules
de transfert** 7/8-9-3/11



**Bureaux
d'Etudes**
1-4-5-6-11

Approches / Logiciels

ANALYSE LIMITE

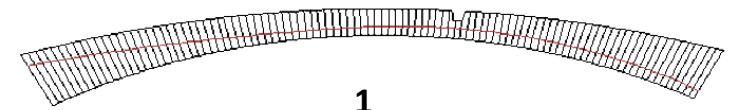


ELEMENTS FINIS

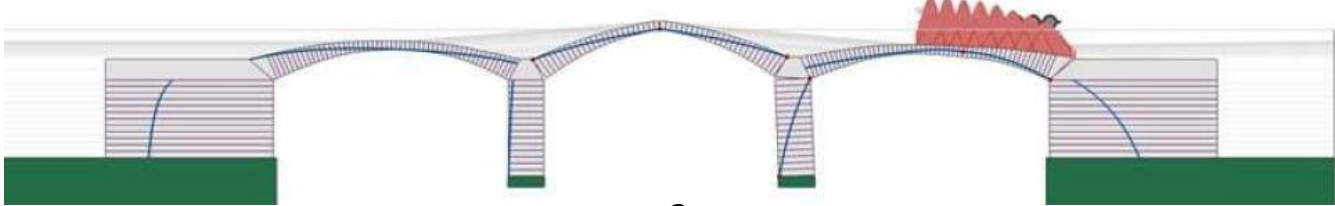
ELEMENTS DISCRETS

SETRA
ROUTE 1.0
CHARGEMENT 6 NIVEAUX INCOMPLETS

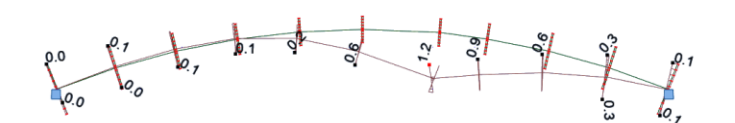
OSSERAIN ENGRAVURE CHARG 2 4 6 NIVEA
DOUELLE 45CM 17MPA QUEUTAGE 12MPA
LIGNE OPTIMALE TRACTION-COMPRESSION



1

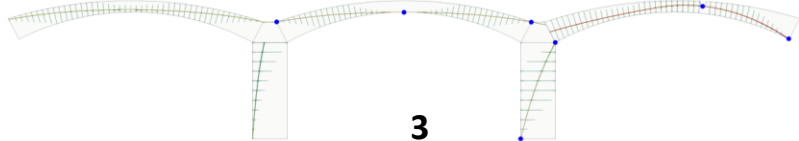


2



4

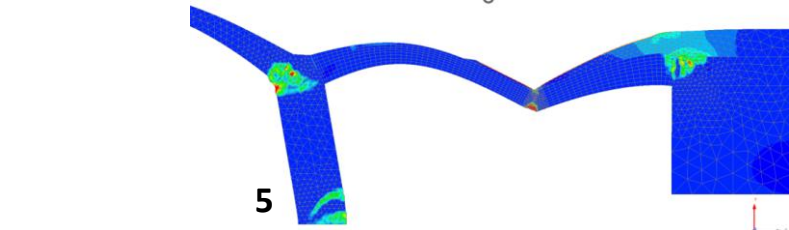
Dép 0cm
Max=1,2



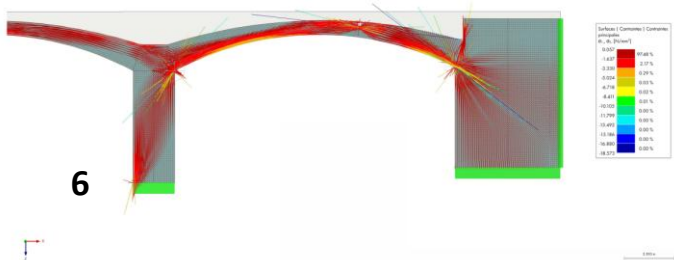
3

Réaction Magnitude
2904. 12076.

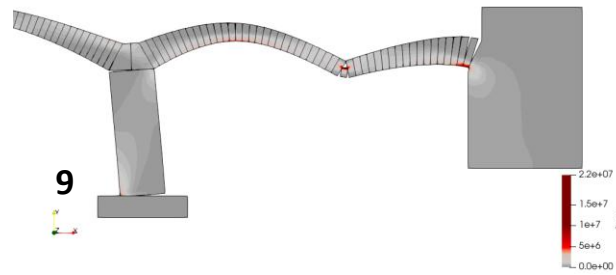
hinges



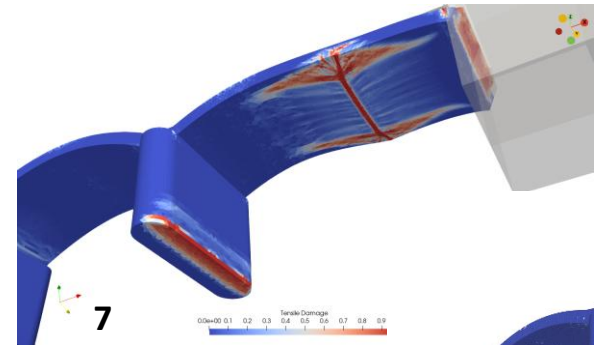
5



6

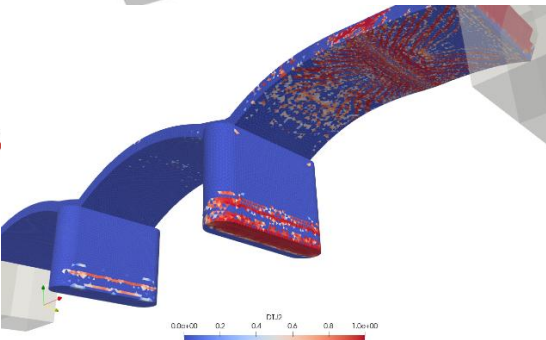


9



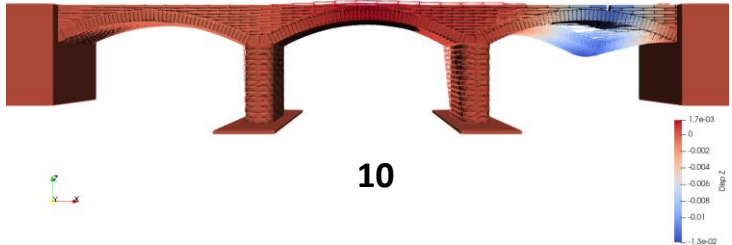
7

Taux de Dommages
0.0e+00 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9



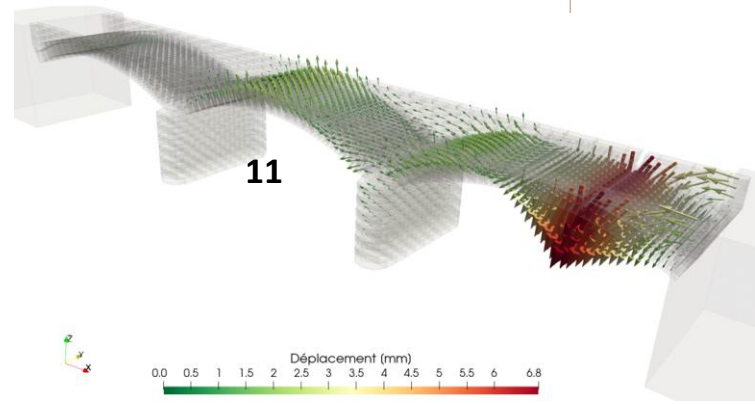
8

D10
0.0e+00 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0e+00



10

1.7e+03
0
-0.002
-0.004
-0.006
-0.008
-0.01
-1.3e+02

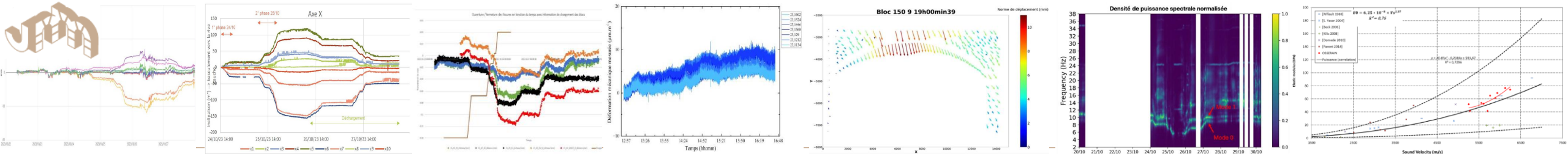


11

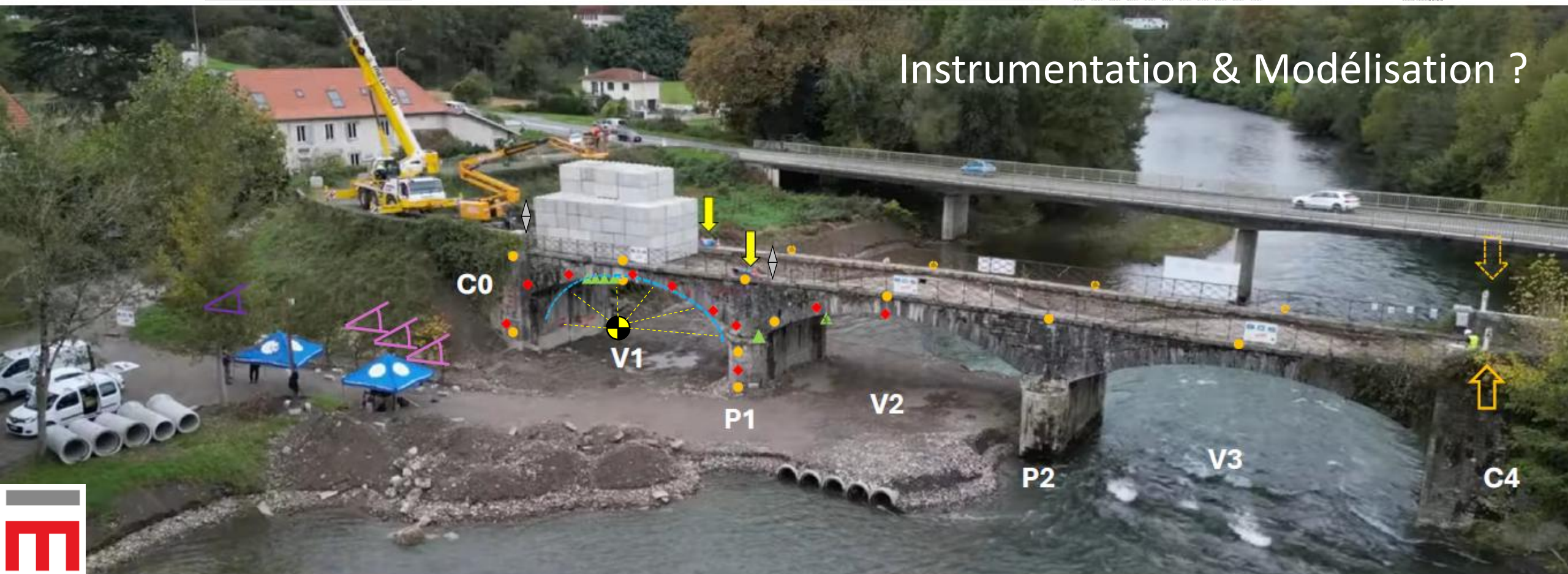
Déplacement (mm)
0.0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.8

Résultats
modélisations





Instrumentation & Modélisation ?



- Prismes EST topographie (implantation symétrique à l'OUEST) visés par théodolites ➡
- ◆ Inclinomètres EST (implantation symétrique à l'OUEST)
- ◇ Essais de sol
- ▲ Fissuromètres
- Fibre Optique
- ◁ Corrélation d'image
- ◁ Capture motion
- ↓ Vélocimètres
- ⦿ Mesures Vitesse Son & caractérisation labo

1 - Prédiction

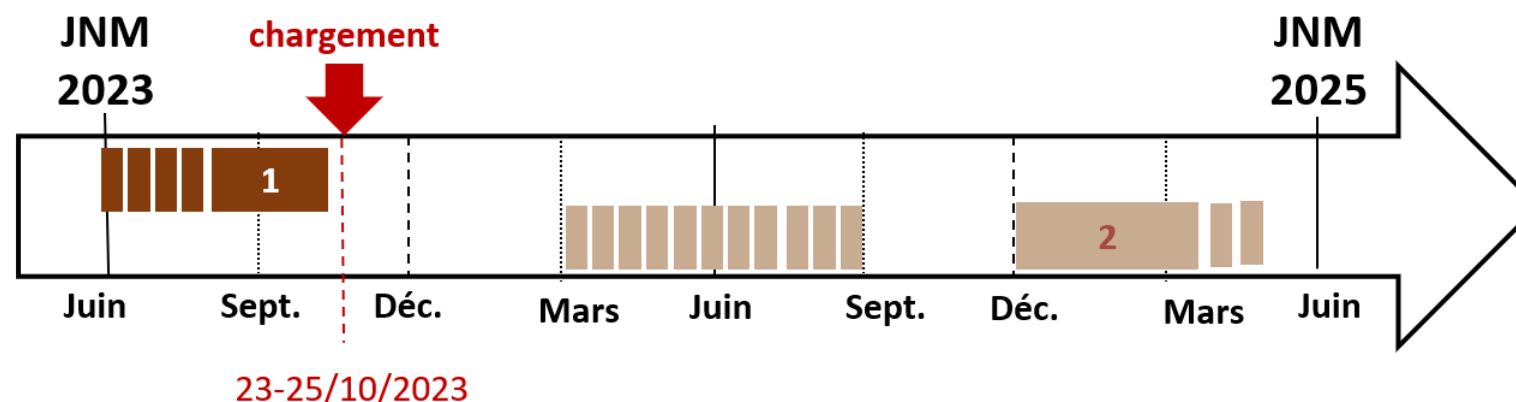
Juin 2023 → octobre 2024

- Proposer & valider un **plan de chargement** satisfaisant aux contraintes de l'opération
- **Prédire le comportement** de l'ouvrage pour le chargement considéré
- **Guider l'instrumentation** pour être à même de mesurer les phénomènes prédits

2 – Post-diction

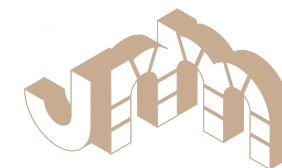
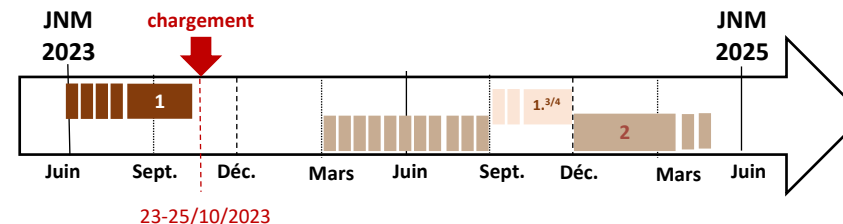
Mars 2024 → avril 2025

- **Exploiter les données** et mesures disponibles sur l'ouvrage pour **recaler les modèles**
- **Comparer les réponses des modèles** entre eux et aux données / mesures & mesurer les écarts entre une modélisation en aveugle et une modélisation environnée





Objectifs des Travaux



1 - Prédiction

Jun 2023 → octobre 2024

- Proposer & valider un **plan de chargement** satisfaisant aux contraintes de l'opération
- **Prédire le comportement** de l'ouvrage pour le chargement considéré
- **Guider l'instrumentation** pour être à même de mesurer les phénomènes prédits

2 – Post-diction

Mars 2024 → avril 2025

- **Exploiter les données** et mesures disponibles sur l'ouvrage pour **recaler les modèles**
- **Comparer les réponses des modèles** entre eux et aux données / mesures & mesurer les écarts entre une modélisation en aveugle et une modélisation environnée

1.^{3/4} – Fiabilisation /

Sept. → déc. 2024

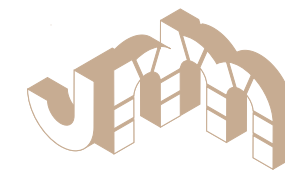
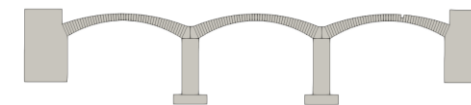
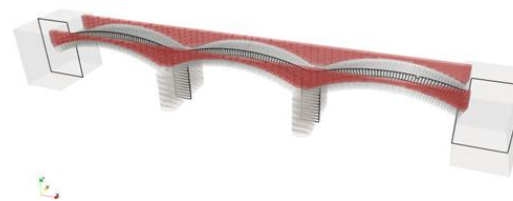
Requalification des données

- **S'approprier les mesures**
- **Croiser les mesures entre elles** à l'aide des réponses des modèles en cours de recalage
- **S'assurer de la bonne cohérence** des mesures à disposition et faire émerger la notion de « **Vérité expérimentale** » pour lancer le recalage

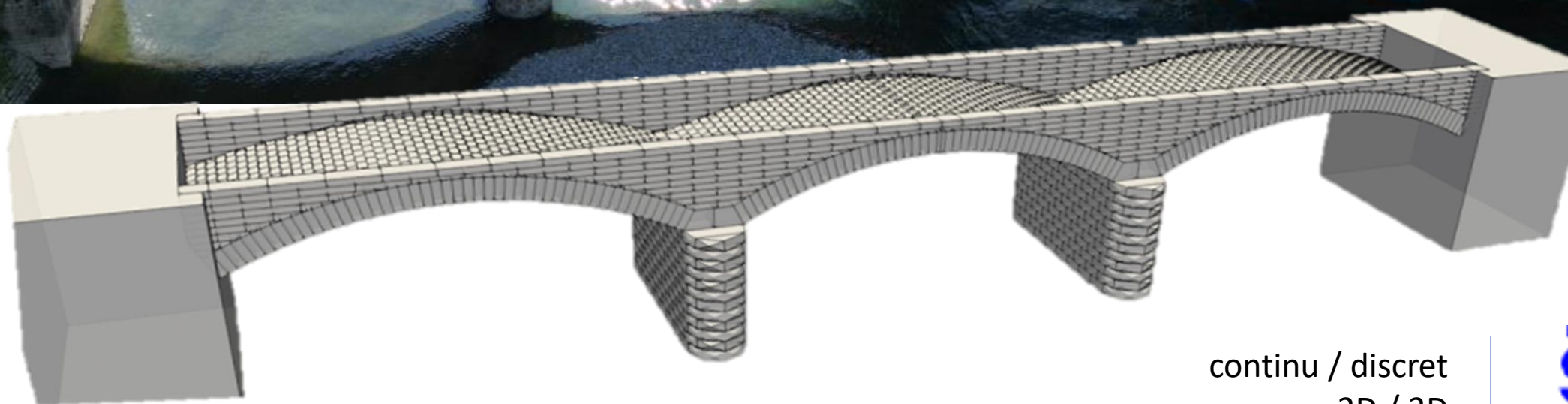
GT Instrumentation



Modèles ?

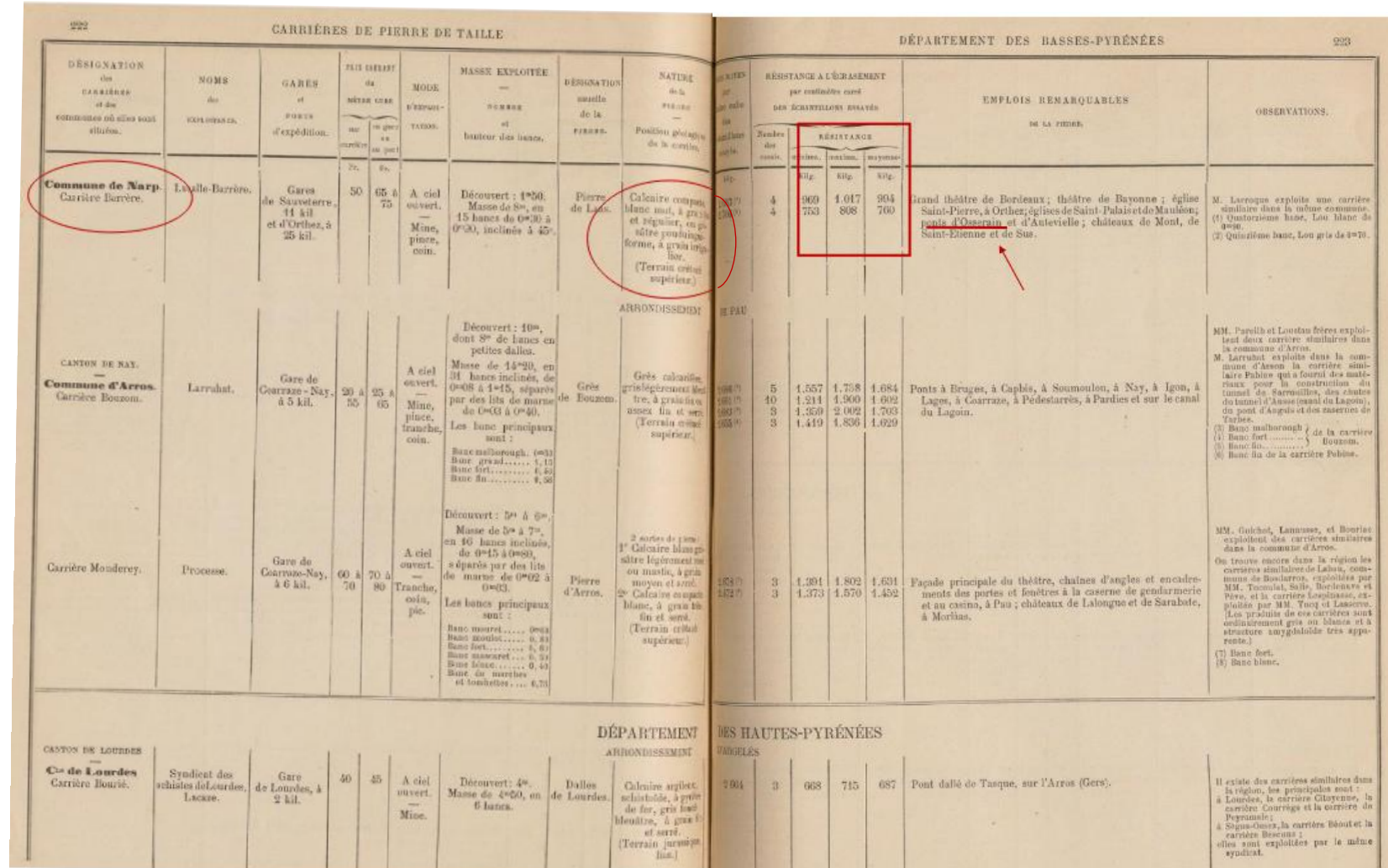


Modèle géométrique



continu / discret
2D / 3D







Prédiction



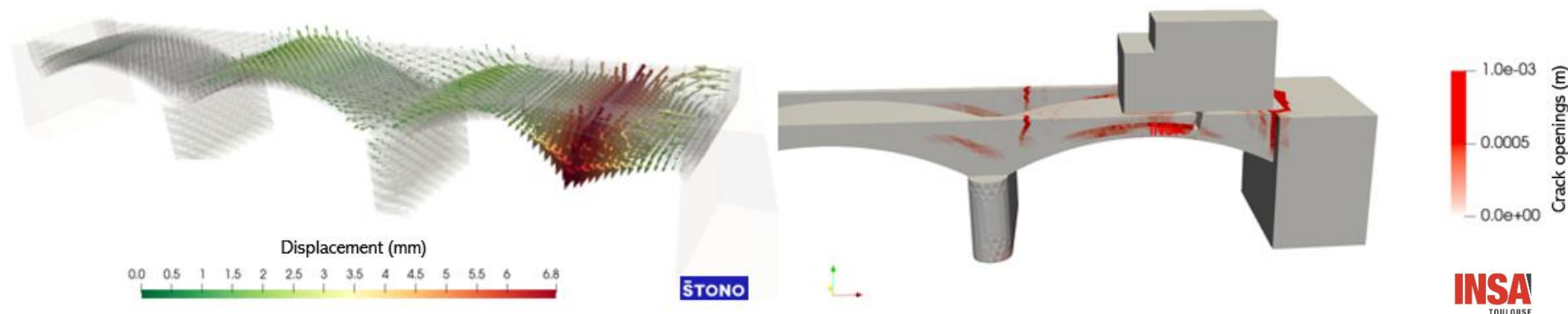
1 - Prédiction

Juin 2023 → octobre 2024

- Proposer & valider un **plan de chargement** satisfaisant aux contraintes de l'opération
- **Prédire le comportement** de l'ouvrage pour le chargement considéré
- **Guider l'instrumentation** pour être à même de mesurer les phénomènes prédits

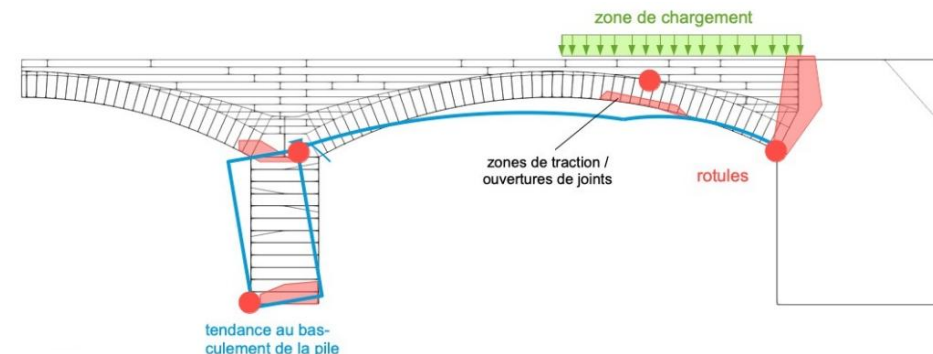


- Contraintes ?** Charger mais pas trop mais quand même assez avec ce qu'on a
- Chargement :** Chargement de la première ½ voûte avec 150 blocs de béton de 2.4 t (360 t)
- Comportement :** Quoi ? Où ? Combien ? → **Plan d'instrumentation**



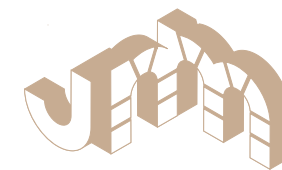
Résultats

- Ruine par basculement de la pile P1 sous 13-15 niveaux de blocs
- **Affaiblissement** du pont par réalisation d'une **saignée** au droit de la zone de rotule du pont + **décaissement** voûtes → **plan chargement**
- **Préconisations** → **plan instrumentation**



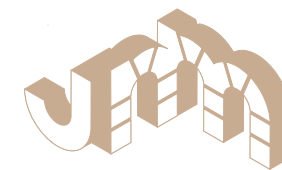


Plan de chargement





Plan d'instrumentation



- Prismes EST topographie (implantation symétrique à l'OUEST) visés par théodolites ➡
- ◆ Inclinomètres EST (implantation symétrique à l'OUEST)
- ◇ Essais de sol
- ▲ Fissuromètres
- Fibre Optique
- ◁ Corrélation d'image
- ◁ Capture motion
- ↓ Vélocimètres
- Mesures Vitesse Son & caractérisation labo



Mesures & Appropriation

Positions
Orientations
Interprétation | fonctionnement



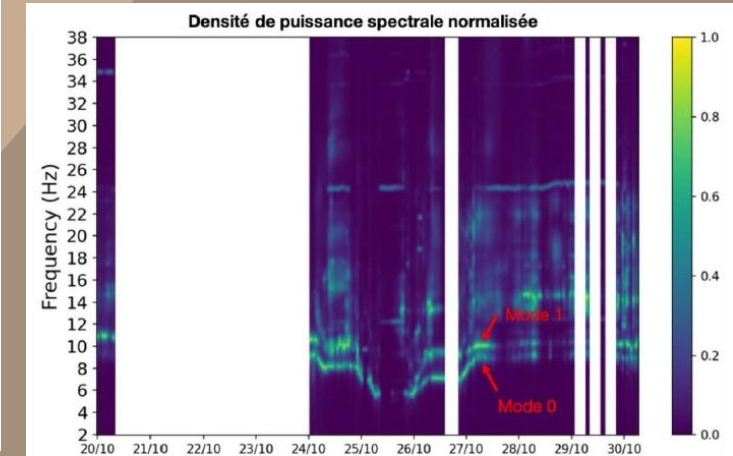
Topographie ●



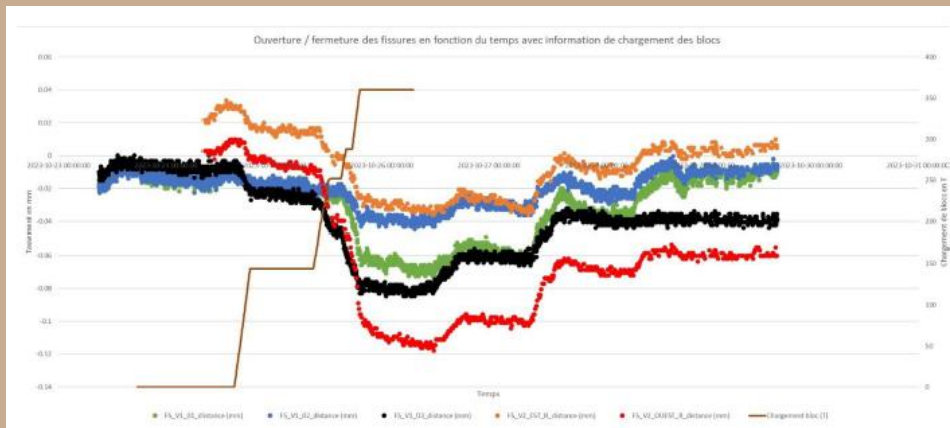
Inclinométrie ◆



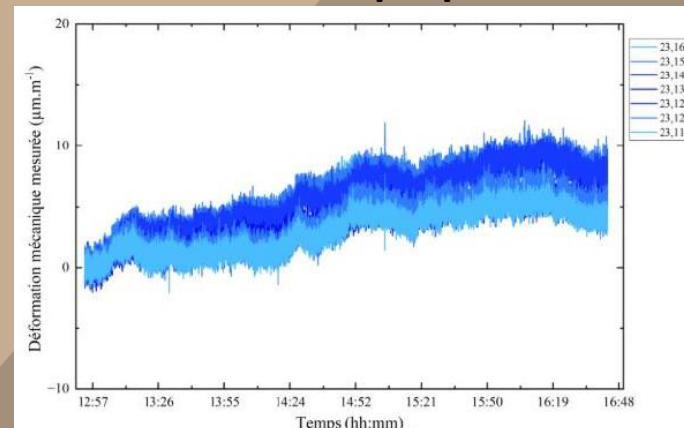
AMO ↓



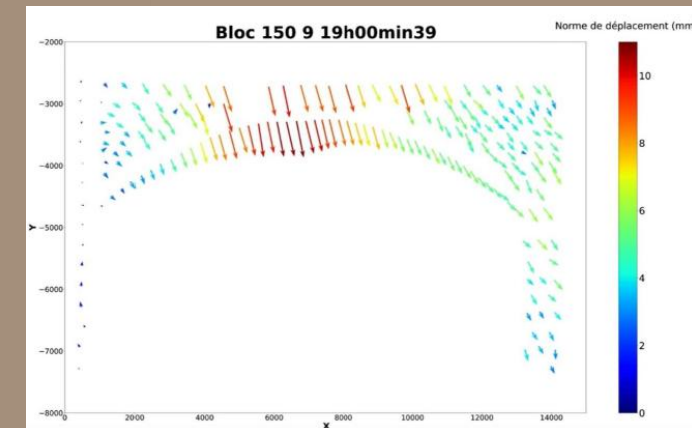
Fissurométrie ▲

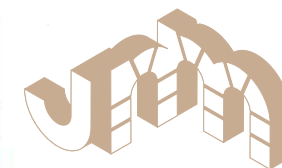


Fibre Optique —

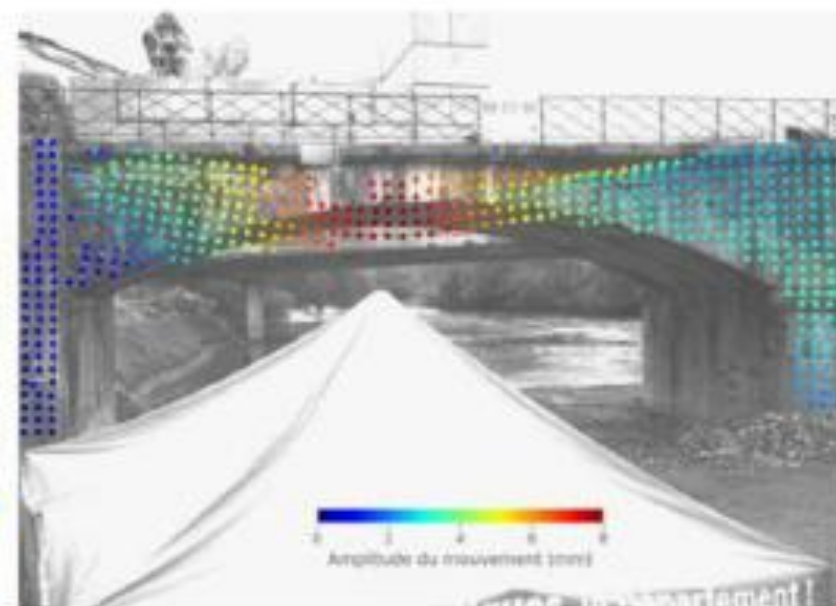


DIC ▲

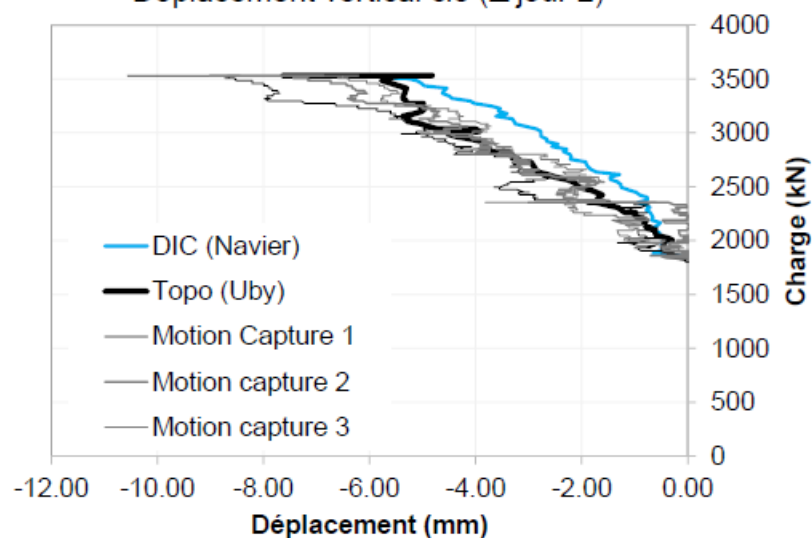




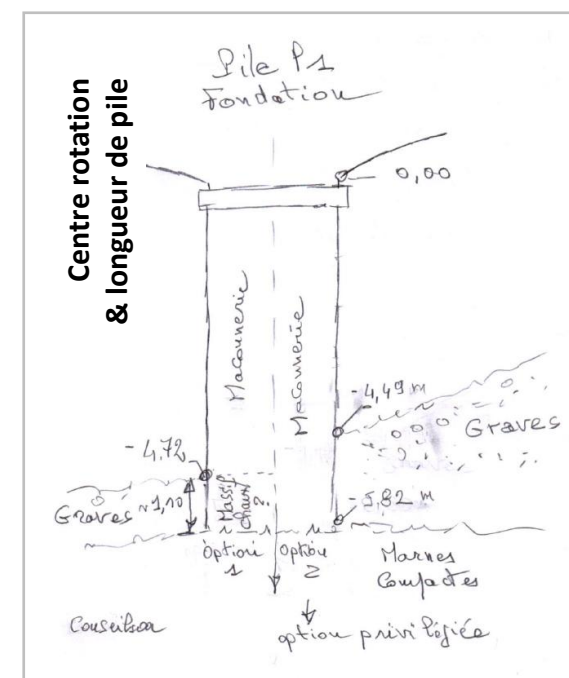
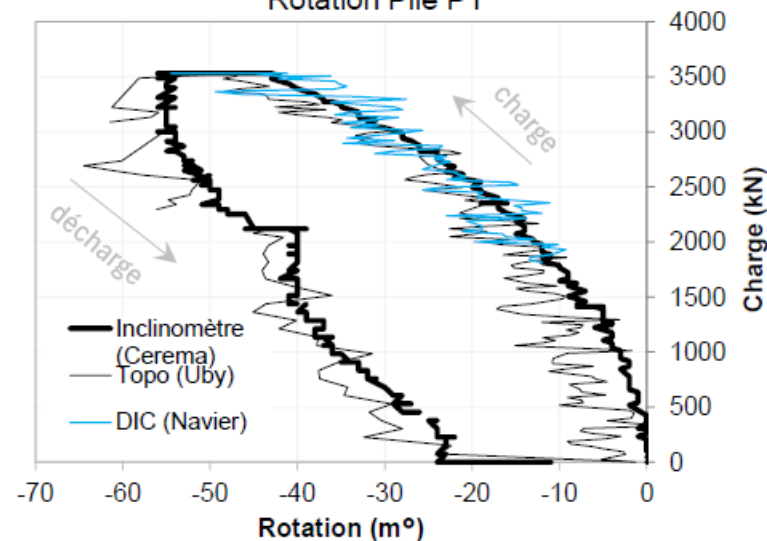
Fiabilisation des mesures ... et correction modèle



Déplacement vertical clé (Δ jour 2)



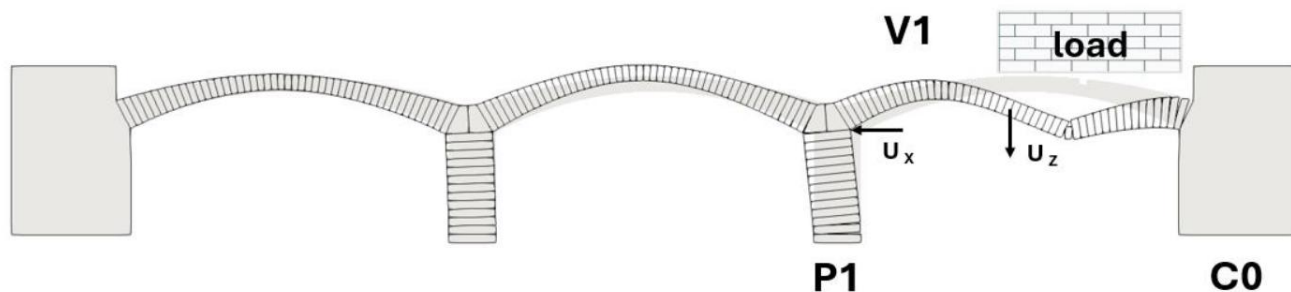
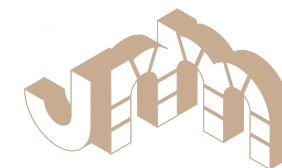
Rotation Pile P1



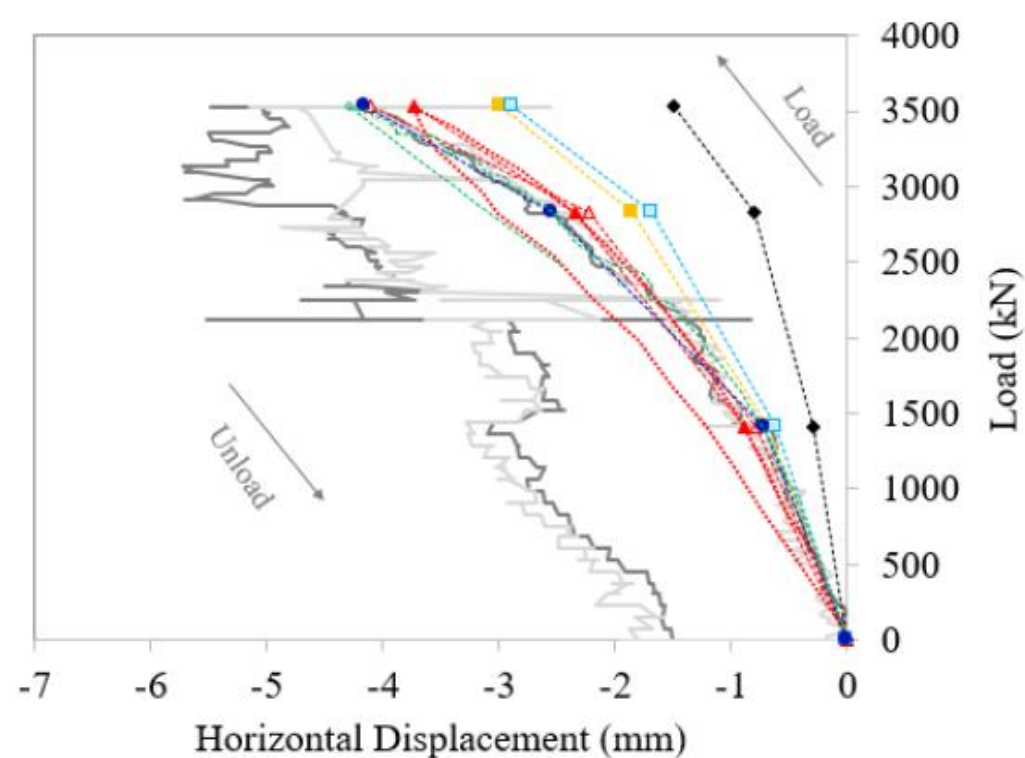
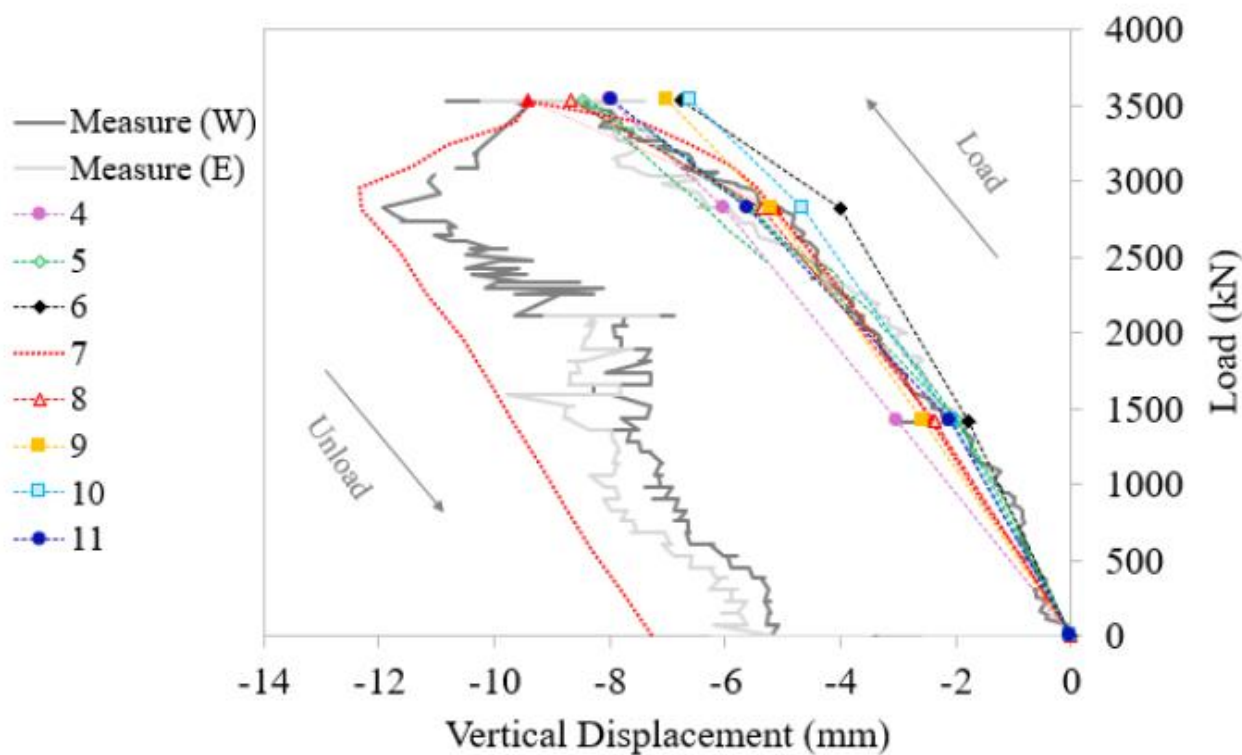


Post-diction

Recalibration des modèles
Comparaisons des résultats de modélisations
aux mesures réalisées sur le pont



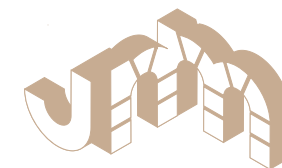
*Comportement maçonnerie ?
Conditions aux Limites ?*



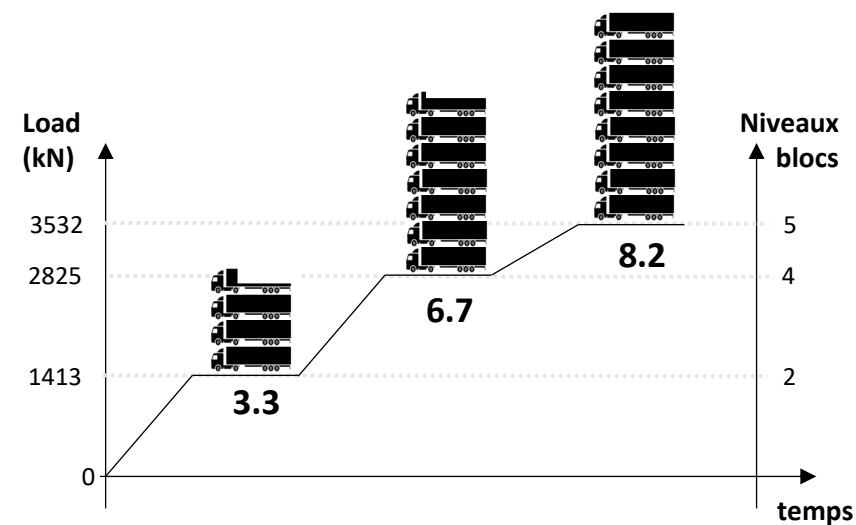
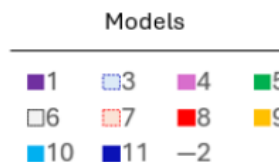
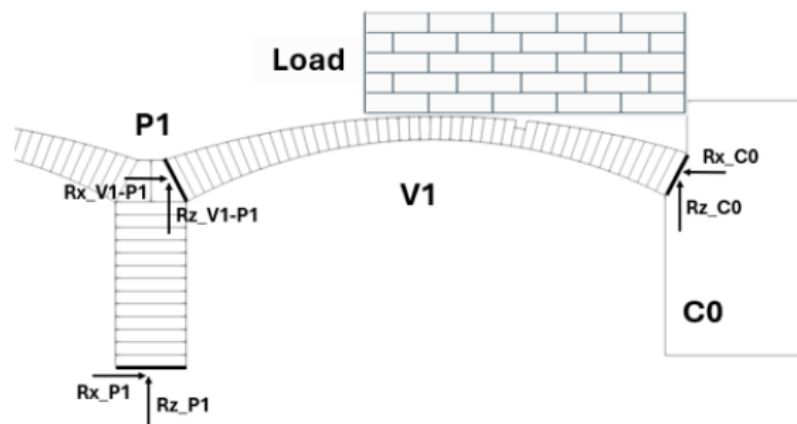
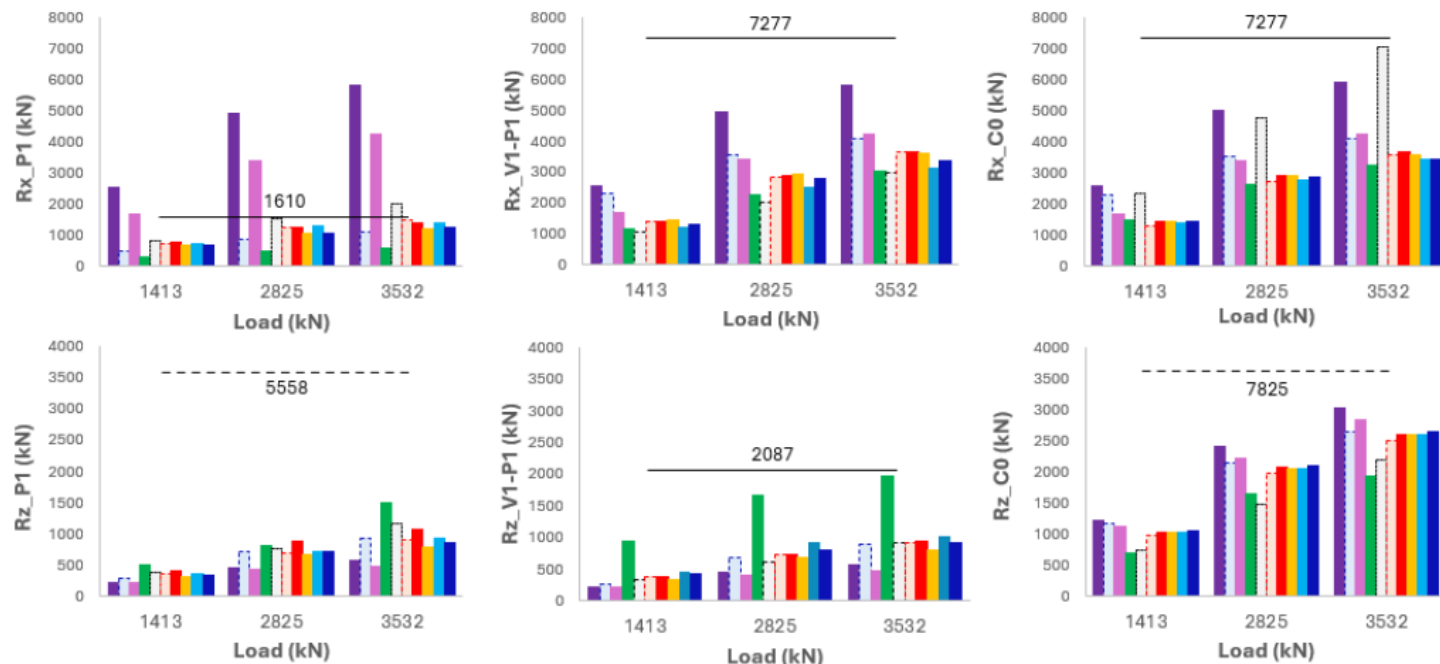


Post-diction

Recalibration des modèles
Comparaisons des résultats de modélisations
fournis par les différentes approches



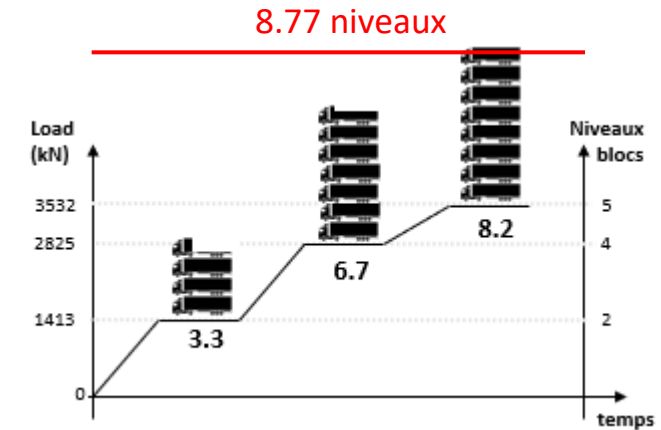
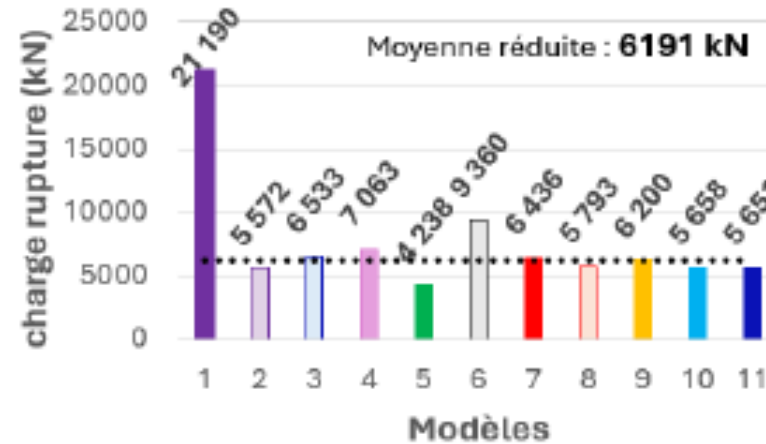
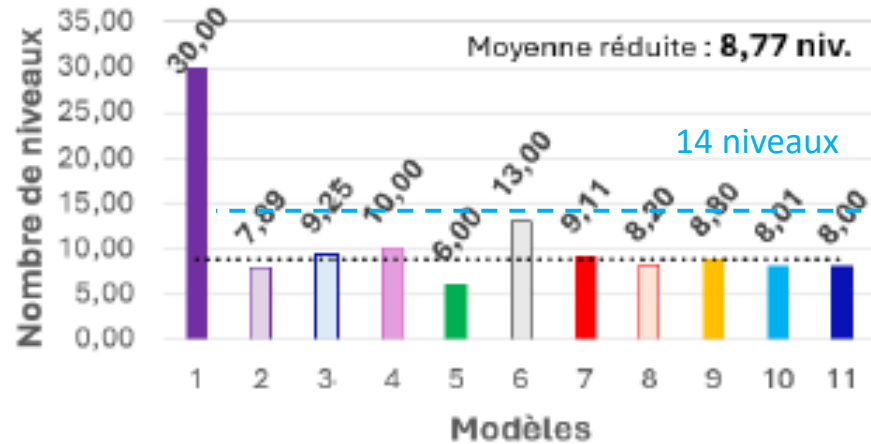
*Comportement maçonnerie ?
Conditions aux Limites ?*





Post-diction RUPTURE

Recalibration des modèles
Comparaisons des résultats de modélisations
fournis en phase de *pré* ou de *post*-diction



- **Niveaux de blocs à la rupture :**
13-15 niveaux (phase de prédiction) contre près de 9 en phase de post-diction
→ **Propriétés de la maçonnerie (écart de 50%)**
- **Rupture ?**
critère cinématique ? niveau de décompression des joints ?
critère de contrainte ? etc

Osserain

- *regrets* :
 - défaut d'instrumentation au niveau des Conditions Limites
 - défaut d'exploitation de la phase de démolition
- *analyses toujours en cours* | richesse des données récoltées

Travail collectif & pluridisciplinaire

- *au sein du GT modélisation : BETs / académiques*
 - un même sujet d'étude et pourtant des approches très différentes
- *entre GTs : « calculateurs » / « mesureurs »*
 - échanges nourris entre membres des GTs
 - un même sujet d'étude appréhendé par des spectres différents et complémentaires

Instrumentation / modélisation : activités complémentaires (interprétation, fiabilisation, etc)

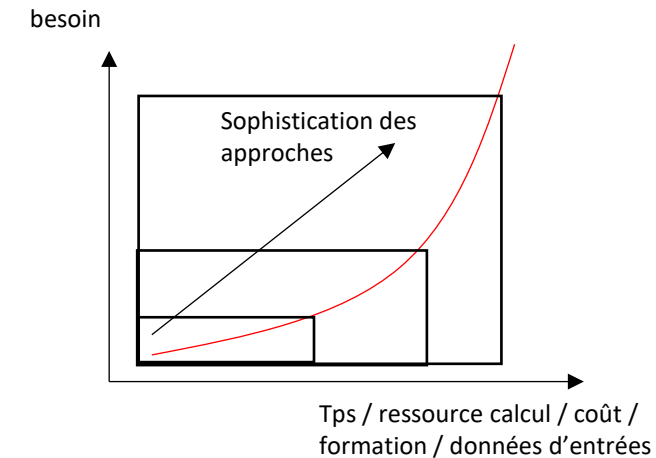
- Un modèle est intrinsèquement faux mais il est d'autant moins faux qu'il est convenablement calibré
- Une mesure n'est pas nécessairement juste et a besoin d'être interprétée à l'échelle de la structure
 - **mesures & calculs : un attelage nécessaire pour appréhender finement le comportement des ouvrages**

Travail d'analyse toujours en cours...

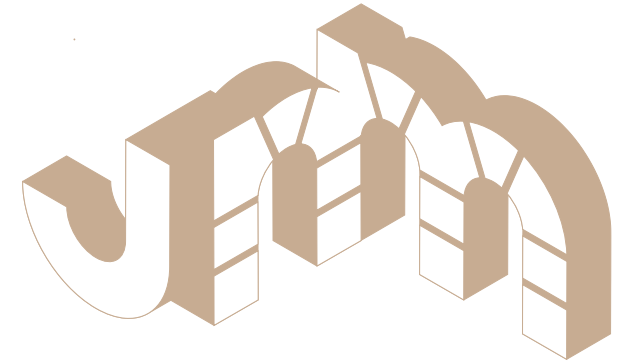
- *sur Osserain*
 - analyse des mesures « micro » à mener de manière plus poussée
 - papiers scientifiques
- *peut-on être conclusif sur ce seul benchmark pour évaluer les approches entre elles ?*
 - **Prestwood Bridge** [P. Morenon] / **Osserain** [P. Taforel] / **SNCF-RATP** [F. Dubois]

Approches de modélisations :

- *y-a-t-il une solution de modélisation miracle ?*
 - **NON** : il y a des approches de modélisation avec leurs forces et leurs faiblesses, et des experts sur ces approches susceptibles de fournir différents niveaux d'analyse inhérents aux approches mises en œuvre
 - **Choix de la méthode** : équilibre besoin / finalité de l'étude vs moyens à disposition (données, temps, €, etc)
- *vers une approche multi-approches ? Vers des solutions tout en un ? OUI et NON*
 - on ne remplacera pas l'expertise sur les outils
 - **Plateforme tout en 1 : OUI** pour faire **découvrir d'autres approches** [PN Dolmen / Axe 2 – F.Dubois]
 - **Bonne connaissance des limites des outils utilisés & curiosité pour les autres approches**



Ne soyons pas sectaires !!



Merci de votre attention

Contact :

Paul TAFOREL, MiMeTICS

ptaforel@mimetics-engineering.fr

DolmEn

Développement d'Outils et de Logiciels
pour la Maçonnerie Existante et Neuve

Journées Nationales de la Maçonnerie
5ème édition | Bordeaux
12 et 13 juin 2025

MiMeTICS
Engineering Solutions Provider

Merci de votre attention

Contacts :

GETEC, Benoît Malenfant, benoit.malenfant@getec-so.com

Expert OA, Bernard Jacquier, bernard.jacquier51@orange.fr

Conseils OA, Gérard Viossanges, g.viossanges@gmail.com

Université de Limoges, Sylvie Yotte, sylvie.yotte@unilim.fr

Quadric, Judith Christophe, Judith.CHRISTOPHE@arteliagroup.com

SETEC, Omar Moreno-Regan, omar.moreno-regan@setec.com

Bollinger & Grohmann, Félix Cassiani-Ingoni, fcassiani-ingoni@bollinger-grohmann.fr

Bollinger & Grohmann, Pierre Marquis-Lhuillier, pmarquislhuillier@bollinger-grohmann.fr

INSA Toulouse / Toulouse Tech Transfer, Pierre Morenon, morenon@insa-toulouse.fr

MiMeTICS engineering, Paul Taforel, ptaforel@mimetics-engineering.fr

Université de Montpellier / LMGC, Frédéric Dubois, frederic.dubois@umontpellier.fr

STONO, Marine Bagnéris, bagneris@stono.fr

STONO, Fabien Cherblanc, cherblanc@stono.fr

DolmEn

Développement d'Outils et de Logiciels
pour la Maçonnerie Existante et Neuve

Journées Nationales de la Maçonnerie
5ème édition | Bordeaux
12 et 13 juin 2025

MiMeTICS
Engineering Solutions Provider